

一种基于好友簇的社交网络中的时延容忍路由协议

李 陟 张 宏 刘凤玉

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

摘 要 社交网络是一种以便携式移动通信设备为节点的无线网络,通常由于其规模较大、结构复杂并且拓扑变化频繁,而成为时延容忍网络的一个典型应用场景。通过分析社交网络的特性,构建了基于好友群组的网络拓扑模型,并基于该模型,提出了一种基于簇结构的时延容忍路由协议。通过实验证明了该路由协议可以在保证较高路由性能的前提下有效控制由于数据副本传染造成的对网络资源的消耗。

关键词 社交网络,时延容忍网络,分簇,路由协议

中图分类号 TN915.04 **文献标识码** A

Friend Cluster Based Delay Tolerant Routing Protocol in Social Networks

LI Zhi ZHANG Hong LIU Feng-yu

(Dept. of Institute of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract Social network is a kind of wireless network which consists of portable communication devices. Generally, it has large scale, complex structure and rapidly changed topology. It is a classic application scenario of delay tolerant networks. A network topology model was presented based on node's friend cluster on social networks. An efficient cluster based delay tolerant routing protocol was proposed for this topology model. The experiment proves that based on the cluster model, the proposed routing protocol can not only guarantee routing performance but also avoid consumption of network resources caused by uncontrolled epidemic packet copies.

Keywords Social networks, Delay tolerant networks, Clustering, Routing protocol

时延容忍网络(Delay Tolerant Networks, DTN)^[1]是一种基于存储转发机制的无线自组织网络,用于解决不存在稳定通信链路的无线网络中的通信问题。DTN 主要被应用于没有通信基础设施、通信节点密度较为稀疏或节点移动速度较快、无法维护稳定的端到端连接的环境,如战场临时网络、边远的乡村网络、野外科考网络等。近年来,随着便携式移动通信设备成本的降低、性能的提高和体积的缩小,很多移动通信设备如 PDA、智能手机等几乎已经成为人们生活中必不可少的随身物品。蓝牙、Ad-hoc 等技术的发展能够让这些移动设备之间更方便地实现本地通信,而不需借助移动通信运营商的基站。这样不仅节省了公共网络资源,也为用户节省了一定的通信费用。由这些个人移动通信设备组成的本地临时网络与用于公共事业或者科学研究的专用网络有较大的区别,其典型的应用如校园网络(College Campus)^[2]和口袋转换网(Pocket Switched Networks)^[3]。在这样的网络中,节点间的通信不再是为了完成一个共同的科研目的,节点的移动也受到其所有者“人”的控制。人是具有社会性的,在人和人的交往中,节点间的通信也具有了社会性。这种节点具有社会性的网络称之为社交时延容忍网络(Social Delay Tolerant Networks)。

传统 DTN 主要用来解决稀疏网络拓扑环境下的节点间通信问题,而社交网络却具有网络规模大、节点数量多的特

点。目前的 DTN 路由多采用复制副本的策略来增加路由成功的机率,而在 DTN 路由的过程中又没有有效的消息传递成功后的通知机制,来使很多数据在传输成功后仍然被继续不断地转发。这些数据报文不仅对网络的带宽和信道的资源造成很大程度的浪费,也会影响路由转发的性能。由于数据副本的数量与网络节点数量是成正比的,因此在社交时延网络的应用更需要找到一种能够较好控制冗余数据副本的方法。为了解决这个问题,提出了一种基于分簇结构的社交网络中的时延容忍路由协议。以社会关系图作为网络底层的逻辑拓扑,基于节点的转发意愿构建分簇结构,把路由过程分解为簇间的转发和簇内的转发,增加了数据包携带节点与目的节点(所在簇)的相遇概率,同时通过簇内有条件副本传染限制了数据包的冗余。通过实验证明,在较大规模的社交网络中,由于网络整体负载较高,基于分簇的 DTN 路由的性能明显优于传统的平面 DTN 路由。

本文第 2 节介绍了基于社会关系路由的理论基础和相关工作;第 3 节给出了网络模型并描述了详细的应用场景;第 4 节给出了路由算法;最后通过仿真实验验证了路由算法的正确性和有效性。

1 相关工作

近几年,DTN 在社交网络中的应用成为了研究的热点。

到稿日期:2011-03-08 返修日期:2011-05-23 本文受国家自然科学基金(60903027),江苏省高校自然科学基金项目(10KJB520014)资助。

李 陟(1979—),男,博士生,主要研究领域为机会网络和无线自组织网络,E-mail:lizhi@mail.njust.edu.cn;张 宏(1956—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为数据挖掘和机器学习;刘凤玉(1943—),女,教授,博士生导师,主要研究领域为网络性能和信息安全。

在对社交网络模型的研究方面,文献[4]评估了DTN应用于社交网络的可行性,分析了DTN与MANET以及传统的P2P技术相比在社交网络中应用的优势。文献[5]通过社交网络模型分析了DTN中的数据包副本扩散模型,比较了不同扩散策略的性能,其结论是节点会比较乐于或积极地与其社会关系较紧密的节点分享它们共同感兴趣的信息。文献[6]研究了基于复杂网络和小世界网络模型分析时延社交网络的方法,基于对MIT和ETH的两个数据集的分析,指出了仅基于相遇次数预测节点相遇概率的问题,并提出了相应的改进措施。文献[7]基于社交网络的小世界性质提出了一种转发意愿优先的社交时延容忍网络路由协议,它能够有效避免以占满缓冲区为目的的DOS攻击。文献[8]基于公共交通网络的特性提出了一种基于簇结构的时延容忍路由协议,但该算法是集中式算法,并不适合于社交网络中的分布式环境。本文基于文献[7]中的网络模型提出了一种基于好友群组的分簇模型,它利用转发意愿高的节点间较高的通信频率,选择出一组较优的副本传染中继节点,以代替无目的的副本传染,同时约束传染节点的范围。

2 网络模型

在无线移动网络中,网络拓扑通常以图的方式来定义,如拓扑图 $G=(V,E)$ 。这里 V 是节点集合, E 为边集。边定义为相邻的两个节点之间的有效通信链路。由于DTN网络拓扑变化的频繁性,无法维持有效的端到端通信路径。因此,DTN中通常用节点间的相遇概率作为边的权值,来构建抽象的DTN网络拓扑^[9]。考虑到社交网络中节点移动的随意性和社会关系对节点行为的约束,文献[7]以节点间的社会关系来定义抽象的网络拓扑。

定义1 设 $G=(V,E)$ 为DTN网络拓扑图, G 是带权连通图,其中 V 表示网络中节点的集合, E 为定义在 G 上的边集。若节点 $u,v \in V$,且 u 认为其与 v 间存在一定的社会关系,则设定 $v \rightarrow u$ 存在边 $e(v,u) \in E$, $e(v,u)$ 的权值 $w(v,u) \in [0,1]$ 。

为了简化模型,在本文中认为 u,v 相互间的权值是相等的,即 $G=(V,E)$ 是无向图。这里使用 $w(v,u)$ 来表示节点 u 为 v 提供转发服务的意愿,即 u 认为其与 v 间的社会关系越紧密,则 u 为 v 提供转发服务的意愿就越强烈。这里0表示不愿意转发,1表示非常愿意转发。通常可以认为关系最紧密的节点间的转发意愿最强烈,且这两个节点间的通信频率也最高。

定义2 设 $G=(V,E)$ 为DTN网络拓扑图, $V' \subset V$, $V' = \{v | w(u,v) > \lambda, \lambda \in (0,1]\}$,则称 V' 为 u 的最近转发群组。

这里 λ 为控制分簇大小的变量, λ 越大,其簇成员越少。在系统实现的层面, V' 即是通过通信设备的应用程序构建了由双方确认的通信簿,如即时通信软件中的好友列表,这种结构的特点是整个网络构成以每个节点自身为中心的簇结构,每个簇的成员即为每个节点的好友列表,而同时这个节点也作为其每个好友节点所标识的簇的成员。考虑到实际情况中通信簿不一定是常通信的好友,因此加入 λ 来缩小参与本节点数据包中继的节点数量,同时提高转发效率。

3 基于好友簇的路由协议

社交网络虽然节点密度较一般DTN网络大很多,其网

络拓扑在一些时刻也可以保证整体的连通,但由于节点的移动范围和移动速率还是使得网络拓扑的变化较为频繁,因此并不适合使用需要维持端到端路由的MANET路由。在DTN网络中,路由通常的设计思路是通过增加冗余来提高路由成功率。在实际应用中,数据的传输量往往会很大,高冗余路由算法只在低网络负载的情况下有意义。当高负载使得数据包缓冲区满载后,路由算法性能将很快下降。因此DTN路由算法的设计一直在寻找网络负载和路由性能的平衡。社交网络的规模大、节点数量多的特点使得传染路由^[10]、先知路由^[11]这种依靠不可控的副本传染机制的路由协议在实际应用中会造成很高的网络资源浪费。喷雾等待路由^[12]看似是个比较合理的解决方案,但是其喷雾过程没有考虑社交网络中节点的移动模型特点,比如节点间由于社会关系而影响的通信频率等,使得喷雾过程所选择的携带副本的节点不能确保与目的节点具有较高的相遇率,从而不能有效地保证路由的投递成功率。若结合先知路由和喷雾等待路由的特点,在喷雾过程中采取只向与目的节点相遇率更高的节点复制数据包副本,则可以在一定程度上有效提高投递成功率。由于社交网络的节点通信半径一般较小,而网络的半径又很大,因此即使网络中存在一定数量的持有数据包副本的节点,在喷雾等待的过程中,仍然会有很长的时延,甚至导致超时而路由失败。

提出的基于好友簇(Friend Cluster)的路由协议较好地解决了上述问题。路由协议由喷雾、等待和传染这3个阶段组成,通过有选择喷雾增加喷雾效率,利用增加目标节点数量的办法提高等待过程的效率,通过群组内传染控制传染代价。设节点 u 有一目的为节点 v 的数据包(packet),若节点 u 为源节点,则创建多个节点副本(copy),本文采用文献[12]中的副本数量设定。当节点 u 遇到节点 r 时,给出如表1所列的路由策略。

表1 基于好友簇的路由策略

Friend Cluster Based Routing Schema(FCBRS)
if v.friendcluster.contains(u) then
if v.friendcluster.contains(r) then
do epidemic_routing;
end if
else
if length(u.packet_copies) > 1 then
if length(r.friendcluster) > δ then
spray(u.packet_copies, r, 1/2);
end if
else
if v.friendcluster.contains(r) then
forward(u.packet_copies, r);
end if
end if
end if

协议主要在以下4个方面进行了优化:

(1) 在路由信息的收集和维护阶段,节点仅维护其与好友列表(即好友簇)中节点间的相遇关系,相对先知路由可以很大程度解决网络规模过大后对节点间相遇概率的维护代价问题。

(2) 在喷雾阶段选择社交能力较强的节点,这里用参数 δ 给定一个好友列表中节点数量的下限,只有当好友数量大于 δ 时,才执行喷雾过程,喷雾的副本数量为当前节点持有副本数量的一半。

(3) 节点持有数据包副本数量为 1, 且与目的节点不是好友时, 路由进入等待阶段。与喷雾等待路由不同的是, FCBRS 在等待过程中扩大了被等待节点的范围, 即持有数据包副本的节点在碰到任意与目的节点是好友的节点后都将把其持有的数据包副本转发给该节点。在不考虑社会关系的情况下, 若设节点 u, v 间相遇概率为 $p(u, v)$, 节点 v 的好友节点群组为 $C_v = \{v_1, \dots, v_m\}$, 则节点 u 与 C_v 中任意节点都不相遇的概率为:

$$\prod_{i=1}^m [1 - p(u, v_i)]$$

设 $p(u, v_1) = p(u, v_2) = \dots = p(u, v_m) = P$, 则节点 u 与节点群组 C_v 中至少有一个节点相遇的概率为 $p(u, C_v) = 1 - (1 - P)^m$ 。设 $P = 8\%$, 则图 1 给出了 $p(u, C_v)$ 随 m 的变化趋势。由图 1 可见, 当等待的目的是一组节点时, 投递成功率会根据目的节点的数量而快速增加, 即通过增加等待过程中目的节点的数量可以使得所有数据包副本都“较快”地靠近最终目的节点。

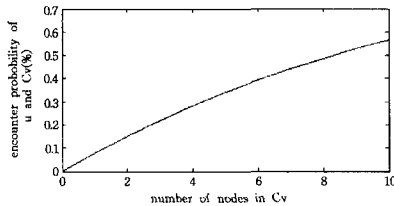


图 1 节点与簇的相遇概率图

(4) 在数据包副本传入目的节点所在好友组后, 路由转换为传入模式, 只传入同属于目的节点好友的节点, 从而兼顾性能和代价。

4 仿真实验

使用 ONE^[13] 平台作为仿真工具。分别比较了在社交网络环境下喷雾等待路由 (SNW)、传染路由 (EPI)、先知路由 (PROP) 和本文提出的基于好友群组的路由 (FCBRS) 的平均端到端投递成功率、平均端到端时延和数据包转发次数。实验选择了 200 个节点, 并对每个节点随机设置了 15~20 个存在社会关系的节点, 同时保证基于社会关系的拓扑图为连通图。实验中 λ 值为 0.45, 使得节点的平均好友数在 6 以上。 δ 取值为 4, 以避免过低效用的喷雾。通过改变数据包数量得出如图 2—图 4 所示的实验结果。

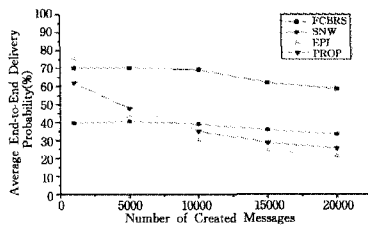


图 2 平均端到端投递成功率

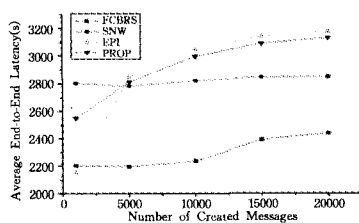


图 3 平均端到端投递时延

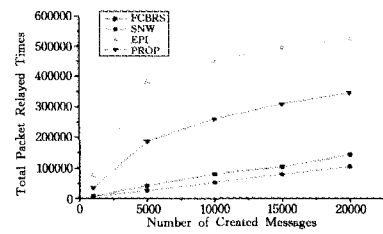


图 4 数据包转发次数

FCBRS 总体基于喷雾等待路由的思路进行设计, 通过有选择的喷雾过程增加了携带副本节点的平均通信能力, 并对喷雾后的等待过程这一性能瓶颈进行了有效的改进。FCBRS 把单纯的等待目的节点的过程分解为 2 个过程, 即等待目的节点的好友群组中任意节点的过程和目的节点好友群组内的传染过程。这样, 既提高了路由寻路效率, 又有效控制了传染过程中大量的数据包副本对网络资源的消耗。如图 2、图 3 所示, FCBRS 虽然在发包速率较低时, 性能略低于 Epidemic 和 PROPHET, 但在发包速率提高后, 其性能下降较缓。从图 4 中可以看出, FCBRS 的数据包转发次数明显少于 Epidemic 和 PROPHET, 这也是导致其性能较稳定的主要原因之一。同时, 和喷雾等待路由相比, FCBRS 有着较明显的性能优势。

结束语 分析了可应用于口袋网络、校园网络等规模较大、结构较复杂且节点间具有一定社会关系的 DTN 网络的特性。讨论了由于网络规模大和节点数量多引起的数据包副本传染对网络资源的消耗问题, 分析了喷雾等待路由的性能瓶颈。基于社交网络的特性构建了基于节点好友簇的分簇网络拓扑模型, 模型能够充分利用社交网络中由社会关系反映出的节点间的通信能力, 并利用节点的主动交互极大程度上减小了对该节点间关系的维护代价。在本模型的基础上, 设计了 FCBRS 路由, 它能够充分利用分簇结构的特点, 把喷雾等待改进为高效喷雾、等待目的节点好友簇成员和目的节点好友簇内传染这 3 个阶段, 从而在达到较高路由性能的前提下能很好地控制路由算法对网络资源的使用。

参考文献

- [1] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[C]//Proc of SIGCOMM'03. New York: ACM, 2003: 27-34
- [2] Su J, Chin A, Popivanova A, et al. User Mobility for Opportunistic Ad-Hoc Networking[C]//Proceedings of the 6th IEEE Workshop on Mobile Computing System and Applications (WMCSA). UK, December 2004: 41-45
- [3] Chaintreau A, Hui P, Crowcroft J, et al. Pocket switched networks, Real-world mobility and its consequences for opportunistic forwarding[R]. UCAM-CL-TR-617. Cambridge: Computer Laboratory, University of Cambridge, 2005
- [4] Nguyen A M, Crespi N. Social-DTN: Why Social Networking Services is More Fruitful to Mobile Delay-tolerant Networks? [C]//Proceedings of International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops(ICUMT). 2009: 1-2
- [5] Zhang Y, Zhao J. Social network analysis on data diffusion in delay tolerant networks[C]//Proc of MobiHoc'09. New York: ACM, 2009: 345-346

增长;Frame-TDMA 算法的发现时间随网络中节点数目的增加线性增长,这是因为它在每个信道的帧中为每个节点配置一个时隙;Frame-Compete 算法和 FDNSC 算法时间开销比 Frame-TDMA 算法少得多,这是因为认知 Ad-hoc 网络中节点的通信距离有限,节点之间可以在不碰撞或较少碰撞的情况下同时发送消息而不需要为每个节点分配一个独占时隙;FDNSC 算法的时间开销分别是 Frame-TDMA 和 Frame-Compete 算法的 28%~53% 和 4%~9%,这是因为 FDNSC 充分利用了相邻节点的可用信道集的相似性,节点不需要在 GCS 上切换,而只需要在各自可用信道集上进行 beacon 消息的交互,这减少了不必要的时间浪费,大大降低了邻居发现过程的时间开销。

结束语 邻居发现是认知 Ad-hoc 网分布式多跳协作面临的首要问题。本文针对认知 Ad-hoc 网络中的可用信道集异构和没有全网公共控制信道的环境,利用相邻节点可用信道集的相似性,提出了一种快速邻居发现算法。仿真表明,提出的算法与现有算法相比,发现时间至少减少了 47%。算法较好地解决了网络初始化阶段的全网同步发现问题,但对于在网络运行过程中新入网节点的邻居发现,还需要进一步研究。

参 考 文 献

[1] 郭彩丽,冯春燕,曾志民,等. 认知无线网络技术及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2010:1-9

[2] FCC ET Docket No 03-222, Notice of Proposed Rule Making and Order[OL]. December 2003

[3] Akyildiz I F, Lee W-Y. NeXt Generation/Dynamic Spectrum Access /Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey [J]. Computer Networks, 2006, 50: 2127-2159

[4] 宋化,林小拉. 一种新型面向频谱高利用率的认知 MAC 协议[J]. 计算机科学, 2010, 37(7): 97-101

[5] Akyildiz I F, Lee W-Y, Chowdhury K R. Spectrum management in cognitive radio Ad-hoc networks[J]. IEEE Network, 2009, 23(4): 6-12

[6] XG Working Group. The XG Vision RFCs [OL]. <http://www.ir.bbn.com/projects/xmac/rfc/rfc-vision.pdf>

[7] End-to-End Reconfigurability, E2R_WP5_D5. 3_050727 [OL]. http://e2r.motlabs.com/Deliverable/E2R_WP5_D5.3_050727.pdf

[8] Zhao Jun, Zheng Hai-tao, Yang Guang-hua. Distributed Coordination in Dynamic Spectrum Allocation Networks[C]// IEEE International Conference on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks. 2005: 259-268

[9] Komali R S, Thomas R W, Dasilva L A, et al. The Price of Ignorance-Distributed Topology Control in Cognitive Networks [J]. IEEE Transactions on wireless communications, 2010, 9(4): 1434-1445

[10] Damjanovic Z. Cognitive Radio Access Discovery Strategies[C]// IEEE International Conference on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, CNSDSP 2008. Graz, July 2008: 251-255

[11] Asterjadhi A, Zorzi M. JENNA: A Jamming Evasive Network-coding Neighbor-discovery Algorithm for Cognitive Radio Networks[J]. IEEE Wireless Communications Magazine, 2010, 7(4): 24-32

[12] Liyana Arachchige C, Venkatesan S, Mittal N. Asynchronous Neighbor Discovery Algorithm for Cognitive Radio Networks [R]. UTDACS-24-08. University of Texas at Dallas, August 2008

[13] Krishnamurthy S, Thoppian M, Kuppa S, et al. Time-efficient Distributed Layer-2 Auto-configuration for Cognitive Radio Networks[J]. Computer Networks, 2008, 52(4): 831-849

[14] Lazos L, Liu Si-si, Krunz M. Spectrum Opportunity Based Control Channel Assignment in Cognitive Radio Networks[C]// IEEE Secon 2009 Proceedings. Rome, Italy, 2009: 1-9

[15] Krishnamurthy S, Mittal N, Chandrasekaran R, et al. Neighbor Discovery in Multi-receiver Cognitive Radio Networks[J]. International Journal of Computers & Applications, 2009, 31(1): 50-57

[16] Cormio C, Chowdhury K R. A Survey on MAC Protocols for Cognitive Radio Networks[J]. Ad-hoc Networks, 2009, 7(7): 1315-1329

[17] Cesana M, Cuomo F, Ekici E. Routing in Cognitive Radio Networks: Challenges and Solutions[J]. Ad-hoc Networks, 2010

(上接第 28 页)

[6] Hossmann T, Legendre F, Spyropoulos T. From contacts to graphs: pitfalls in using complex network analysis for DTN routing[C]// Proc of INFOCOM '09. Piscataway, NJ: IEEE, 2009: 1-6

[7] 李陟,刘凤玉,张宏. 一种应用于社交网络中的时延容忍路由协议[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(12): 4732-4734

[8] 李陟,查玄阅,刘凤玉,等. 公交时延容忍网络中基于索引的多级分组路由算法[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(3): 407-414

[9] Ahmed S, Kanhere S S. Cluster-based Forwarding in Delay Tolerant Public Transport Networks[C]// Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks, 2007: 625-634

[10] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks [R]. CS-2000-06. Durham, NC: Department of

Computer Science, Duke University, 2000

[11] Lindgren, Doria A, Schelèn O. Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks[J]. Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20

[12] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks[C]// Proceedings of the ACM SIGCOMM 2005 Workshop on Delay Tolerant Networks. Philadelphia, PA, USA, August 2005: 22-26

[13] Keränen A, Ott J, Kärkkäinen T. The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools'09). New York, NY, USA, 2009